

Josef ALDORF¹, Eva HRUBEŠOVÁ², Karel VOJTASÍK³, Lukáš ĎURIŠ⁴

**VERIFIKACE ZDOKONALENÉ PREDIKCE ÚČINKŮ MĚLKÉHO TUNELOVÁNÍ NA
POVRCH - ČÁST 1.**

**COMPETENCE OF AN ADVANCED ESTIMATION OF SHALLOW TUNELLING IMPACTS
ON GROUND SURFACE – PART 1.**

Abstrakt

Obsahem příspěvku je ověření spolehlivosti praktického použití prezentovaných výpočetních postupů pro stanovení parametrů poklesové kotliny při ražení mělkých podzemních děl, pro kvantitativní i kvalitativní vyhodnocení těchto parametrů v konkrétních praktických úlohách a ověření dostatečné vypovídací schopnosti výsledků provedených výpočtů.

Abstract

The contribution investigates a competence of an advanced estimation providing for the variables of subsidence curve above a shallow tunnelling and scrutinizes their qualitative and quantitative outputs with regard to the actual variable values drawn on field measurements.

1 ÚVOD

Na základě výpočetních postupů uvedených dále byl proveden výpočet hodnot sedání povrchu v důsledku ražení kolektoru Ostrava-Centrum, včetně vyhodnocení základních charakteristik poklesových kotlin (maximální pokles, poloha inflexního bodu, maximální hodnota naklonění, rozsah poklesové kotliny), a následné srovnání modelově získaných výsledků s výsledky monitorovanými in situ.

Konkrétně bylo provedeno kvantitativní i kvalitativní srovnání tří poklesových kotlin PK 060 (staničení 0.100 km) a PK 260 (staničení 0.752 40 km) a PK 390 (staničení 1.1 km) (viz obr. 1, 2, 3). Výsledky monitoringu byly převzaty z podkladů poskytnutých firmou INSET, která uvedená monitorovací měření prováděla.

Kolektor byl ražen technologií ručního ražení, délka zabírky činila 0.7 m. Zajištění výrubu bylo prováděno v klenbě díla ochranným deštníkem z injektovaných jehel o délce 2.2 m s roztečí 0.35 m, výjimečně bylo prováděno i zajištění boku díla injektovanými jehlami. Primární výztuž výru-

¹ prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 944, e-mail: josef.aldorf@vsb.cz.

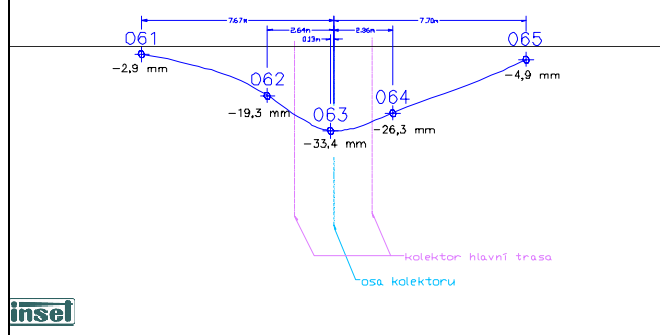
² doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 373, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

³ doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 947, e-mail: karel.vojtasik@vsb.cz.

⁴ Ing. Lukáš Ďuriš, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 948, e-mail: lukas.duris@vsb.cz.

POKLESOVÁ KOTLINA PK 060
staničení 0,100 km

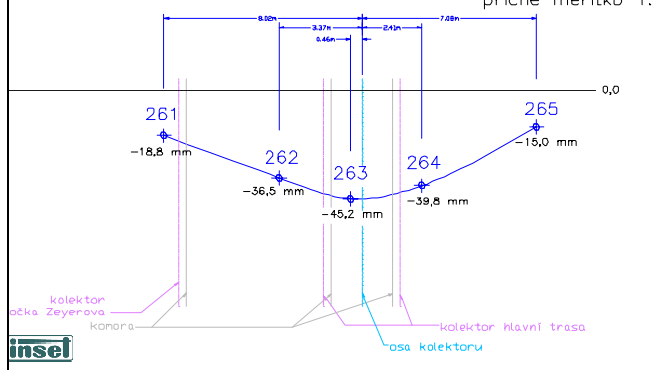
měřeno 12.4.2005
podélné měřítko 1:100
příčné měřítko 1:1



Obr.1

POKLESOVÁ KOTLINA PK 260
staničení 0,752 40 km

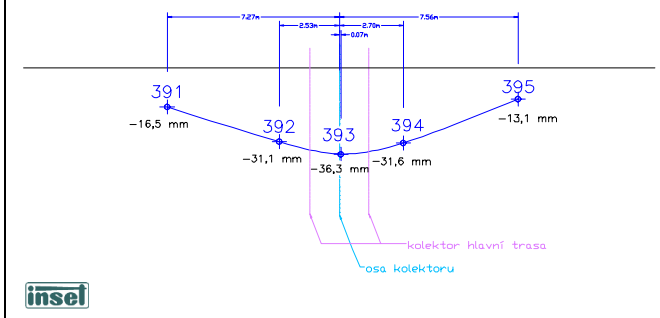
měřeno 7.6.2004
podélné měřítko 1:100
příčné měřítko 1:1



Obr.2

POKLESOVÁ KOTLINA PK 390
staničení 1,100 km

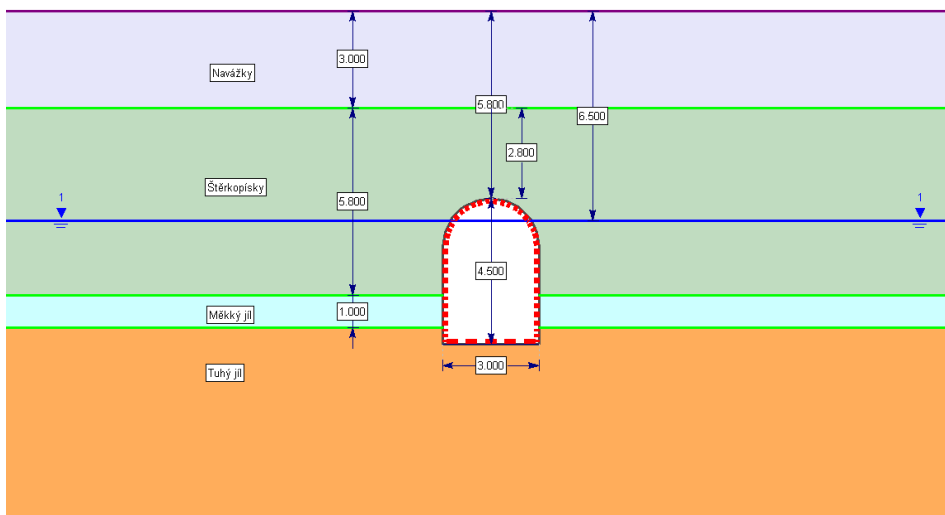
měřeno 20.4.2005
podélné měřítko 1:100
příčné měřítko 1:1



Obr.3

bu byla provedena ze stříkaného betonu (tl. 200 mm) armovaného příhradovými oblouky ASTA a dvěma vrstvami ocelové mřížoviny 100x100x6 mm.

Geometrické charakteristiky kolektoru, hloubka uložení díla a charakter horninového prostředí, v němž byl kolektor ražen, jsou uvedeny na obr. č. 4 a v tabulce č.1.



Obr.4: Geometrické charakteristiky kolektoru a lokalizace horninových vrstev.

Tab.1: Základní materiálové charakteristiky zeminových vrstev.

Parametr	Typ zeminy			
	navážky	štěrkopíský	měkký jíl	tuhý jíl
objemová tíha (kN/m ³)	19.5	19.6	19.9	19.9
modul pružnosti E (MPa)	8	25	4.5	18.5
Poissonovo číslo	0.4	0.2	0.4	0.4
soudržnost (kPa)	8	3	20	30
úhel vnitřního tření (°)	26	31.5	21	21

Pro výpočet charakteristik poklesové kotliny byly využity empirické metody [5], [6]) a dále zdokonalená analyticko-numerická metoda [1]. Obě tyto metody vycházejí z předpokladu kruhového příčného průřezu díla a z tohoto důvodu bylo nutno nahradit obloukový příčný průřez kolektoru průřezem kruhovým s ekvivalentní plochou příčného průřezu (poloměr ekvivalentního kruhového příčného průřezu činí 2 m).

2 PŘEHLED ZÁKLADNÍCH CHARAKTERISTIK POKLESOVÝCH KOTLIN DETERMINUJÍCÍCH VLIV MĚLKÉHO TUNELOVÁNÍ NA POVRCHOVÉ OBJEKTY

Mezi základní charakteristiky poklesové kotliny, určující vliv mělkého tunelování na povrch patří:

- maximální hodnota poklesu u_{\max} ,

- poloha inflexního bodu i ,
- šířka poklesové kotliny L ,
- maximální naklonění v inflexním bodě d_{\max} ,
- maximální poměrné vodorovné přetvoření ε_{\max} .

Výše uvedené kvantitativní charakteristiky poklesové kotliny jsou vyhodnocovány dle dále uvedených výpočetních metod. Pro stanovení maximálního poměrného vodorovného přetvoření byl využit aproximační vztah [2], [6]:

$$\varepsilon_{\max} \cong 0.66 d_{\max} \quad (1)$$

3 REGRESNÍ ANALÝZA PRO STANOVENÍ PARAMETRŮ POKLESOVÉ KOTLINY VYCHÁZEJÍCÍ Z MONITOROVANÝCH DAT

V každém monitorovaném profilu bylo firmou INSET monitorováno sedání v pěti bodech, přičemž není monitorován bod s maximální hodnotou sedání přímo nad stropem kolektoru. Vzhledem k tomu, že lze předpokládat, že skutečný průběh příčného profilu poklesové kotliny má analogický průběh s Gaussovou křivkou, lze pro přibližné určení maximální hodnoty sedání nad stropem kolektoru, polohy inflexního bodu, šířky a denivelace poklesových kotlin stanovených na základě naměřených hodnot sedání použít regresní analýzu vycházející z regresní funkce ve tvaru Gaussovy křivky

$$u(x) = u_{\max} \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot i^2}\right), \quad (2)$$

kde neznámými regresními koeficienty je maximální hodnota sedání u_{\max} a parametr i určující polohu inflexního bodu monitorované poklesové kotliny.

Naklonění poklesové kotliny $d(x)$ určené touto regresní Gaussovou funkcí je rovno:

$$d(x) = u' = u_{\max} \left(\frac{-x}{i^2}\right) \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot i^2}\right) \quad (3)$$

Regresní koeficienty byly v případě poklesových kotlin stanovovány na základě všech pěti monitorovaných bodů (obr. 1) v příslušném monitorovaném profilu s využitím statistického programu UNISTAT.

Výsledkem regresní analýzy profilu PK 260 (obr. 2) je Gaussova křivka ve tvaru:

$$u(x) = 0.0445 \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot 29.2}\right), \quad (4)$$

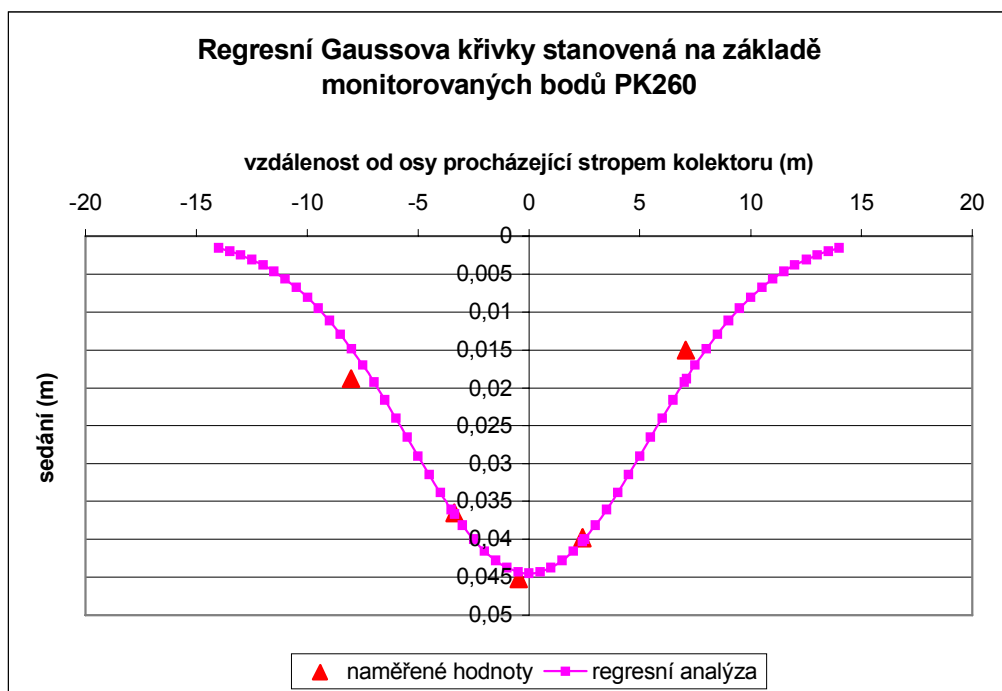
Tedy $u_{\max} = 0.0445$ m, přibližná poloha inflexního bodu $i = 5.4$ m. Šířku poklesové kotliny L lze odhadnout s využitím polohy inflexního bodu. Šířka poklesové kotliny L je přitom v tomto odhadu určována jako vzdálenost dvou bodů na Gaussově křivce, v nichž hodnoty sedání nepřekročí hodnotu $u_{\max}/8$, tj v tomto případě 5.5 mm. Z vlastností Gaussovy křivky plyne, že odhad šířky poklesové kotliny činí $L = 2 \times 2 \times i = 21.6$ m.

Naklonění $d(x)$ je pak dáno funkčním vztahem:

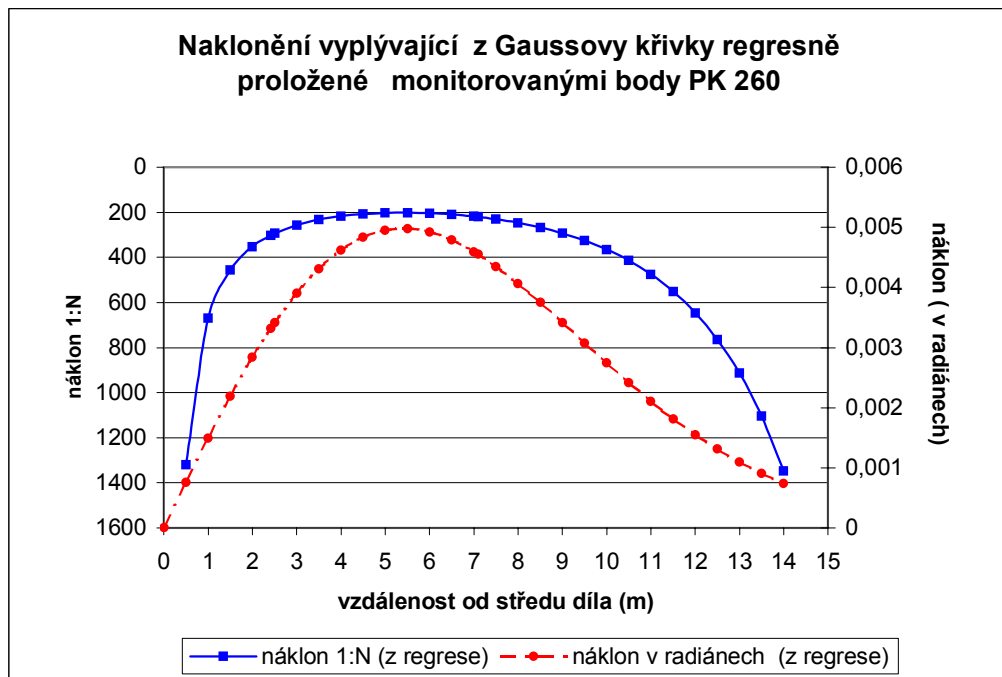
$$d(x) = -0.00152 \cdot x \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot 29.2}\right) \quad (5)$$

Poklesová kotlina je v tomto případě dosti široká, mezní úhel vlivu je nereálně nízký (cca 42°) a lze se tedy domnívat, že monitorovaná poklesová kotlina není výsledkem pouze ražení samotného

kolektoru, ale že se v monitorovaných hodnotách projevuje i vliv realizace komory v boku díla - viz obr. 5; 6.



Obr.5



Obr.6

Obdobně pro poklesovou kotlinu PK 060 má regresně stanovená Gaussova křivka tvar:

$$u(x) = 0.0319 \exp\left(-\frac{x^2}{2 \times 11.09}\right) \quad (6)$$

Tedy $u_{\max} = 0.0319$ m, přibližná poloha inflexního bodu $i = 3.33$ m. Odhad šířky poklesové kotliny L , určené vzdáleností mezi body na Gaussově křivce, v nichž v tomto případě nepřekročí hodnota sedání $u_{\max}/8$, tj. cca 4 mm je roven: $L = 2 \times 2 \times i = 13.3$ m

Naklonění $d(x)$ je pak dáno vztahem:

$$d(x) = -0.00287 \cdot x \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot 11.09}\right) \quad (7)$$

Mezní úhel vlivu odpovídající této šířce poklesové kotliny je 60° , což koresponduje s obecně známým vyjádřením mezního úhlu vlivu $45^\circ + \varphi/2$ při úhlu $\varphi = 31.5^\circ$ ve vrstvě štěrkopísků.

V případě poklesové kotliny PK 390 je regresní Gaussova křivka daná vztahem:

$$u(x) = 0.036 \exp\left(-\frac{x^2}{2 \times 29.98}\right) \quad (8)$$

Tedy $u_{\max} = 0.036$ m, přibližná poloha inflexního bodu $i = 5.48$ m. Odhad šířky poklesové kotliny L , určené vzdáleností mezi body na Gaussově křivce, v nichž v tomto případě nepřekročí hodnota sedání $u_{\max}/8$, tj. cca 4.5 mm je roven: $L = 2 \times 2 \times i = 21.92$ m

Naklonění $d(x)$ je pak dáno vztahem:

$$d(x) = -0.0012 \cdot x \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot 29.98}\right) \quad (9)$$

Poklesová kotlina má podobný charakter jako kotlina PK 260, je dosti široká, mezní úhel vlivu je pouze cca 42° a lze tedy rovněž předpokládat, že se na vzniku této poklesové kotliny kromě vlastní ražby kolektoru podílejí ještě další vlivy (např. vliv nadvýlomů).

LITERATURA

- [1] HRUBEŠOVÁ, E.; ALDORF, J.; VOJTASÍK, K. Návrh metod a postupů pro stanovení hodnoty možných vlivů poklesů a deformací na povrchové stavby a inž. sítě. *Dílčí zpráva č. 2 projektu ČBÚ 38-05 : 2006*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006.
- [2] ALDORF, J.; BRADÁČ, J.; VOJTASÍK, K. a kol. *Podzemní stavby a zakládání staveb - vybrané kapitoly*. Ostrava : ES VŠB, 1992, s. 68-88. ISBN 80-7078-163-7.
- [3] ČSN 73 0039 *Navrhování objektů na poddolovaném území*
- [4] ATTEWELL, P. B. Ground movements caused by tunnelling in soil. In *Proc. Int. Conf. „Large Ground Movements and Structures“ : 1977*, Cardiff, U.K. : Pentech Press, London, 1977, s. 812-948.
- [5] CLOUGH, G. W.; SCHMIDT, B. Design and performance of excavations and tunnels in soft clay. *Soft clay Engineering*. Eds. E.W. Brand & R.P. Brenner, Elsevier, N.Y., 1981, s. 569-634.
- [6] PECK, R. B. Deep excavations and tunnelling in soft ground. In *Proc. Int. Conf. „VIIth Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng“ : 1969*, Mexico, State-of-the-Ar Volume. 1969, s. 225-290.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl zpracován s podporou Grantové agentury ČR při řešení projektu GAČR č. 103/09/2016.

Oponentní posudek vypracoval:

doc. Ing. Petr Konečný, CSc., Ústav geoniky AV ČR